第46卷 第6期
2023年6月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 46 No. 6
Jun. 2023

基于"三生"空间的农牧交错区城市土地利用转型及生态环境效应分析
——以包头市为例

张梦圆, 荣丽华, 李伊彤, 党 慧

（内蒙古工业大学建筑学院,内蒙古 呼和浩特 010051）

摘 要: 农牧交错区的土地利用转型及生态环境建设,是我国西北地区可持续发展的重要支撑。基于"三生"空间视角,运用包头市2000、2010、2020年3期遥感数据,通过土地转移矩阵、生态环境质量指数和生态贡献率等方法,分析其土地利用转型特征与生态环境效应。结果表明:(1) 研究期内包头市"三生"空间总体格局稳定,生产、生态用地减少,生活用地持续增加。牧草生态用地转出面积最多,农业生产用地次之;城镇生活用地与工矿生产用地流入面积最大。(2) 2000—2020年包头市生态环境质量指数下降,分别为0.6292、0.6208、0.6194,但改善趋势大于恶化趋势;城市北部生态高质量区面积有所减少;中部中质量区缓慢减少,南部低质量区持续向东南方向递增。(3) 牧草生态用地被占用产生的生态环境负效应较大,而其他生态用地、农业生产用地向牧草生态用地转化则为生态环境改良的主导因素。通过研究包头市的土地利用转型及其生态环境效应,以期为农牧交错区城市的"三生"空间优化、生态环境保护提供借鉴。

关 键 词: "三生"空间; 土地利用转型; 生态环境效应; 农牧交错地区; 包头市

文章编号: 1000－6060(2023)06－0958－10(0958～0967)

改革开放以来城镇化进程日益加快,城乡各类空间转化引发用地结构失衡,加剧土壤荒漠化、生物多样性锐减等生境问题[1-2]。我国正处于转型高质量发展的关键时期,十八大报告明确生产空间集约高效、生态空间山清水秀、生活空间宜居适度的保护原则,而土地利用转型作为社会经济发展阶段转型的具体表征,与生产、生态、生活功能的概念相关,是探讨多功能土地利用转型下生态环境效应的新视角,对系统了解区域生态环境质量与变化特征,优化土地资源配置具有现实意义[3]。

英国地理学家Grainger[4]提出森林转型假说,土地利用转型概念应运而生,该转型对应区域经济社会变革与创新驱动下土地利用形态的发展阶段转型,涉及土地转型理论、城乡发展关系及不同主导功能划分下的土地利用分析[5]。龙花楼等[6-7]首先研究符合中国经济社会特点的土地利用转型,还有学者就土地利用转型的内在动力机制、模式、呈现方式及产生效应等角度进行探讨[8-9]。其中土地利用转型的生态环境效应是研究国土空间环境变化的重要切入点[2],也是未来土地利用结构合理转型的基础,现有学者从自然、社会经济途径研究土地利用转型与生态环境关系及其效应,为本研究提供参考。如通过土地利用转移矩阵及动态度研究土地利用的结构转型、数量占比及重心转移情况,采用InVEST模型、DLS模型、景观生态格局指数、空间计量回归等方法分析各类地域的生态系统服务价值评价体系[10-11];测度生物多样性降低、生境破碎的影响及各类用地生境质量,探究生境格局演化、动

收稿日期: 2022-07-01; **修订日期:** 2022-09-03

基金项目: 国家自然科学基金(51868057);内蒙古自治区教育科学研究"十三五"规划2020年度立项课题(NGJGH2020049)资助

作者简介: 张梦圆(1997-),女,硕士研究生,主要从事内蒙古草原城镇人居环境适宜性规划研究. E-mail: 315261377@qq.com

通讯作者: 荣丽华(1972-),女,蒙古族,教授,博士生导师,主要从事内蒙古草原地区城镇及乡村城乡规划实践与研究.
E-mail: 2797864545@qq.com

力机制及区域特征等[12-13]。目前我国特色区域土地利用转型及生态环境效应的研究成果包括长江三角洲区域、河谷型城市、秦岭地区等不同地域类型及各类行政尺度等[14-16]，缺乏对西北地区城市的研究，特别是用地功能交错、生态环境脆弱、担当生态环境保护重任的农牧交错区城市。

农牧交错区是生态过渡带、农业生产边际带中人口聚集的中心，也是生态环境受外界干扰最深刻的区域[17]，自实施全面禁牧等多种生态保育政策以来，虽取得一定成效，但土地利用模式制约生态环境良性发展、用地规划和生态环境影响研究割裂等问题亟需解决[18-20]，作为我国城镇化进程中受影响较大的典型生态环境敏感区，土地利用转型对生态环境的影响已成为研究城市可持续发展的重要阵地。鉴于此，本文以包头市为例，基于遥感数据与GIS空间技术，在“三生”空间视角下研究其土地利用转型的时空演变特征和生态环境效应，分析包头市可持续发展重点，以期为协调农牧交错区有限的土地资源开发与生态文明建设提供决策参考。

1　研究区概况

包头市位于内蒙古自治区，地理位置介于109°15′~110°26′E、40°15′~42°43′N之间，海拔高度为1067.2 m，是中国的重要工业基地之一。由于生态环境脆弱，包头市以协调土地利用和生态保护作为优先发展策略，所以城市宜居指数较高。包头市下辖5个市辖区、1个矿区、1个高新产业开发区、4个农牧业旗县区，总面积为27768 km^2，耕地面积为4303 km^2，牧草地面积为18686 km^2。截至2021年，总人口为288.87×10^{4}人，其中农牧业人口为48.7×10^{4}人。包头市属于半干旱中温带大陆性季风气候，干旱少雨，全年风沙较多。地貌形态复杂，土地类型多样，整体地势由西北向东南倾斜，阴山山脉横贯城市中部，南部平原临黄河上游资源富集区，土壤肥沃，是农作物产区及城市主要经济建设区，东西接土默川平原和河套平原，北部是高原草地，以工矿业、牧业为主。在区位、气候、地形的影响下，包头市成为中国西北农牧交错区的重点城市。

2　数据与方法

2.1　数据来源

2000、2010、2020年包头市的土地利用遥感监测数据来源于中国科学院资源环境科学与数据共享平台。该数据以Landsat TM和ETM+为主要信息源解译完成，分辨率为100 m[16]。

通过借鉴杨清可等[21]“三生”土地利用转型的主导功能分类方案，划分得3个一级地类和8个二级地类。再根据包头市经济社会需求对多功能草地进行分类，首先，借助土地利用主导功能分析草地的牧草生态功能、牧业生产功能。生态功能包括环境调节、牲畜栖息地以及信息传递功能，生产功能包括草料等物质供给、原材料生产以及牧业间接生产功能，生态功能更符合可持续发展理念[16,22]；其次，从面积占比上来看，包头市2020年全面围栏禁牧草地占总草地面积的87.2%，其余放牧草地以生态系统保育功能为主导，因此将草地归类为生态用地。最后，依据农牧交错区特点[23]，借鉴李晓文等[24-26]制定的二级地类生态环境质量指数，通过面积加权法为包头市“三生”用地的生态环境质量赋值(表1)。

表1　土地利用主导功能分类及其生态环境质量指数

Tab. 1　Dominant function classification of land use and its eco-environmental quality index

“三生”土地利用主导功能分类		土地利用分类系统的二级分类	生态环境质量指数
一级地类	二级地类		
生产用地	Ⅰ	水田、旱地	0.293
	Ⅱ	工矿、交通建设用地	0.010
生态用地	Ⅲ	有林地、灌木林地、疏林地、其他林地	0.883
	Ⅳ	高、中、低覆盖度草地	0.798
	Ⅴ	冰川和永久积雪地、水库坑塘、滩地河渠、湖泊、海涂	0.521
	Ⅵ	裸土地、裸岩石砾地、沼泽地、沙地、戈壁、盐碱地、裸岩石砾地	0.025
生活用地	Ⅶ	城镇用地	0.010
	Ⅷ	农村居民点用地	0.010

注：Ⅰ为农业生产用地；Ⅱ为工矿生产用地；Ⅲ为林地生态用地；Ⅳ为牧草生态用地；Ⅴ为水域生态用地；Ⅵ为其他生态用地；Ⅶ为城镇生活用地；Ⅷ为农村生活用地。下同。

2.2 研究方法

本文采用土地利用转移矩阵模型定量描述土地转移的面积及占比信息[27]，获得2000—2020年3期土地利用转移数据，以分析包头市土地利用功能结构转型与“三生”空间演变特征。再从生态视角出发，测算生态环境质量指数与生态贡献率，以探讨土地利用转型下的生态环境情态。其表达式分别为：

（1）生态环境质量指数模型。综合地类生态环境质量指数、面积与生态环境质量正相关[28]，文中用于测算包头市研究期内的总体生境质量。

$$EV_t = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_{ki}}{S_k} R_i \tag{1}$$

式中：EV_t为生态单元t时期生态环境质量指数；S_{ki}为第t时期内k生态单元内i类土地面积；S_k为区域总面积；n为土地利用类型总数；R_i为第i类土地的生态环境指数。

（2）土地利用功能转型生态贡献率。量化土地主导功能转型的生态环境质量贡献情况，直观体现对生态环境的改善与恶化效应。

$$LEI = \frac{(LE_1 - LE_0)LA}{TA} \tag{2}$$

式中：LEI为土地功能变化的生态贡献率，有正负值；LE_0、LE_1分别为变化用地在研究初期、末期的生态环境质量指数；LA为变化面积；TA为区域总面积。

3 结果与分析

3.1 土地利用功能结构转型

3.1.1 “三生”空间格局及变化 2000—2020年包头市“三生”空间格局较稳定（表2、图1），二级地类的土地利用变化呈“三减五增”局面。生态空间主要以阴山山脉划分，呈片状覆盖研究区北部与中南部；总面积减少267.40 km^2，林地、水域生态用地域共增加212.81 km^2；牧草生态用地削减得到控制，2010年是2020年减少面积的40.64倍。生产空间中的工矿生产用地分散全域；农业生产用地连片分布在南岳地带、黄河北部冲击带，并与牧草生态用地交错于阴山山北高原草地和山南平原，工矿用地增加339.40 km^2，农业生产用地减少348.16 km^2。生活空间面积最少、集中在城市南部，地形平坦处的工矿业发达以及农业集中地带；受快速城镇化的影响增量（271.38 km^2）较大，年平均增长率1.55%。其中，农村生活用地共增加15.39 km^2，城镇生活用地不断向东南方向增进，年平均增速达到9.77%，增加面积为农村的16.63倍，城乡发展水平存在较大差异。

综上，2000—2020年包头市工矿业高速发展，城镇化建设增速，生活空间需求增加，生态空间受到一定影响。退耕还林还草政策初见成效，生态用地退化、开发占用等现象得到遏制。

3.1.2 “三生”空间用地转型分析 实验得出包头市3期土地利用现状，获得土地利用转型矩阵（图2、表3），基于“三生”空间探讨地类转换情态，为研究生态环境影响提供数据基础。

（1）生产用地。农业生产用地转出较多，由于耕地地形平坦且临近城镇地区，适宜建设，转出地类丰富，2000—2010年主要向城镇生活用地（122.10 km^2）、林地生态用地转移（111.47 km^2）；2010—2020年主要向牧草生态用地（146.58 km^2）与工矿生产用地（51.01 km^2）转移，工矿用地快速增加与发展重工业的经济阶段相应，2000—2010年面积扩大7.5倍，后期增幅减缓，共212.98 km^{2}来源于牧草生态用地，占61.64%。

（2）生态用地。牧草生态用地总体流动最多，主

表2 2000—2020年包头市“三生”空间地类面积变化

Tab. 2 Change of land area of “ecological-production-living” space in Baotou City from 2000 to 2020 /km^2

年份	生产用地		生态用地				生活用地	
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ
2000	4981.36	37.93	1108.95	18308.71	443.32	1919.06	46.92	707.84
2010	4801.08	284.84	1260.86	17894.23	465.17	1908.47	192.03	742.63
2020	4633.20	377.33	1264.67	17884.03	500.41	1863.53	302.91	723.23
2000—2010	−180.28	246.91	151.91	−414.48	21.85	−10.59	145.11	34.79
2010—2020	−167.88	92.49	3.81	−10.20	35.24	−44.94	110.88	−19.40
2000—2020	−348.16	339.40	155.72	−424.68	57.09	−55.53	255.99	15.39
2000—2020	−8.76		−267.40				271.38	

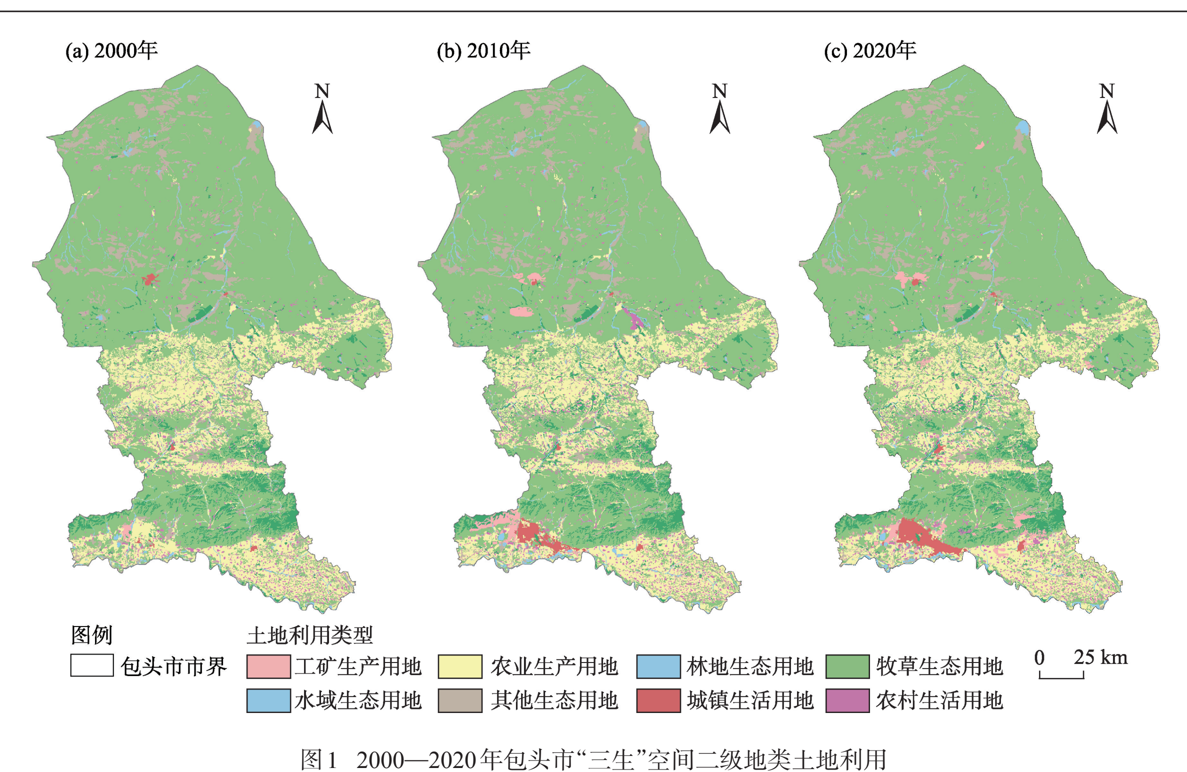


图1 2000—2020年包头市“三生”空间二级地类土地利用

Fig. 1 Land use status of secondary land type of “ecological-production-living” spaces in Baotou City from 2000 to 2020

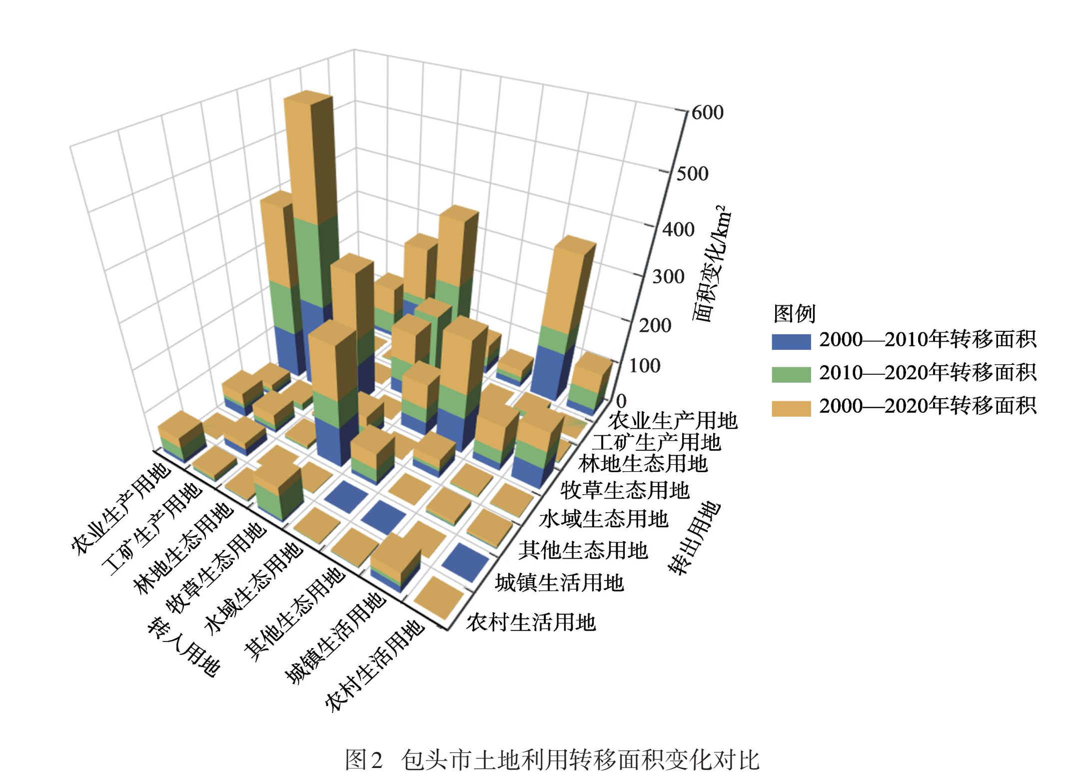


图2 包头市土地利用转移面积变化对比

Fig. 2 Comparison of land use transfer changes in Baotou City

要向生产用地转出，退化趋势逐渐缓解；2000—2010年其他生态用地改善的转入面积最大(97.70 km²)；2010—2020年半舍饲生产方式推广及退耕还林还草政策落实下，农业用地转入面积最大(146.58 km²)。新增林地总体来自牧草生态用地(149.21 km²)与农业生产用地(120.40 km²)。水域生态用地前10 a主要来自农业生产用地(45.49 km²)，后10 a主要来自其他生态用地(35.34 km²)。其他生态用地的占比

表3 2000—2010年包头市土地利用转移矩阵

Tab. 3 Land use transfer matrix of Baotou City from 2000 to 2010 /km²

年份	土地利用类型	2010年								
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	转出量
2000	Ⅰ	4678.82	10.03	111.47	45.39	19.94	14.42	122.10	17.86	341.21
	Ⅱ	0.07	37.03	0.00	0.04	0.00	0.01	1.07	0.01	1.20
	Ⅲ	7.03	3.08	1055.51	33.45	0.94	12.84	4.12	0.58	62.04
	Ⅳ	111.83	208.17	100.78	17838.44	34.01	86.59	18.25	52.78	612.41
	Ⅴ	7.83	0.77	1.39	15.64	403.24	17.47	0.05	0.37	43.52
	Ⅵ	23.69	7.12	0.64	97.70	10.45	1791.40	1.35	1.59	142.54
	Ⅶ	0.04	18.38	0.03	0.10	0.00	0.00	28.73	0.00	18.55
	Ⅷ	9.44	2.52	1.25	5.80	0.29	0.94	17.85	675.24	38.09
	转入量	159.93	250.07	215.56	198.12	65.63	132.27	164.79	73.19	–
年份	土地利用类型	2020年								
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	转出量
2010	Ⅰ	4493.19	51.01	20.44	146.58	23.66	12.33	48.72	43.26	346.00
	Ⅱ	2.37	107.70	2.47	159.61	0.44	0.83	13.48	0.21	179.41
	Ⅲ	14.44	10.58	1179.33	54.38	2.87	2.20	3.43	3.64	91.54
	Ⅳ	112.03	177.23	62.65	17519.21	35.34	57.25	30.89	41.67	517.06
	Ⅴ	8.51	14.98	2.30	20.86	408.92	7.68	4.04	1.57	59.94
	Ⅵ	8.39	12.35	4.65	63.63	31.09	1796.00	5.07	2.44	127.62
	Ⅶ	0.77	0.08	0.25	1.65	0.06	0.09	190.63	0.02	2.92
	Ⅷ	30.29	6.40	2.62	60.06	2.00	1.95	9.05	636.16	112.37
	转入量	176.80	272.63	95.38	506.77	95.46	82.33	114.68	92.81	–

影响生态建设方向，不断转出表明生态治理措施得到落实，且生态恢复能力逐渐提高[27]。

（3）生活用地。城镇生活用地在2000—2010年、2010—2020年，农业生产用地（63.09%、15.96%）与牧草生产用地（9.43%、10.12%）流入占比最大，还有来自乡村居民点的转化。农村生活用地转入面积相对较小，与农业生产、牧草生态用地的流失直接相关，牧草生态用地匀速转移，农业生产用地后10 a流入明显加快，是前10 a的2.42倍。说明农民城镇化程度大于牧民，其城镇化速度在快速提升后放缓，而牧民定居化增速稳步提升。

随着经济社会发展，总体转换趋势为生态、生产用地向生活用地转移，农业生产和牧草生态用地转出面积最大，两者间的功能交换成为研究区重要的土地转换方式，说明"农牧兼营"同时存在"退耕还草"与"占草开耕"现象；以生态保护为发展底线的农牧交错区城市存在土地供需矛盾，还需进一步关注"三生"空间转换中上述现象的生态环境影响。

3.2 "三生"空间用地转型的生态环境效应

3.2.1 生态环境质量指数及时空演变分析 根据公式（1）计算包头市2000、2010、2020年生态环境质量指数分别为0.6292、0.6208、0.6194，整体呈下降趋势，表明用地变化的最终结果对生态环境存在负作用。其中2000—2010年占下降总指数的85.70%，与主要经济指标变化趋势相反；2010—2020年生产总值下降27.30%，生态环境质量有所上升，说明经济发展与生态环境状态负相关。利用GIS自然断点法划分生境质量为：低（<0.001）、较低（0.001~0.025）、中（0.025~0.293）、较高（0.293~0.521）和高（0.521~0.883）5个质量等级（表4、图3）。

包头市生态环境质量高、较高的空间格局总体稳定。生态环境高质量区比重下降（70.47%~69.45%），由草地、灌林地组成，片状分布于城市中部以北，形成高质量生态肌底的防风固沙生态功能区、成为南部大青山生态屏障。较高质量区（1.61%~1.82%）有所增加，由中覆盖度草地、疏林地及水域生态用地组成，是中高质量区的过度区，与高质量区交织分布于中部农牧交错与南部沿黄地带。受地形地貌制约，上述片区的生产、生活用地较少，受人类活动影响小，因此生态质量良好。

生态环境中质量区均匀减小（18.08%~16.81%），呈带状分布于阴山山脉两侧，主要地类为

表4　2000—2020年包头市生态环境质量等级面积及其比重

Tab. 4　Ecological environment quality grade area and its proportion in Baotou City from 2000 to 2020

生态环境类型	2000年		2010年		2020年	
	面积/km²	比重/%	面积/km²	比重/%	面积/km²	比重/%
低质量区	792.69	2.88	1219.62	4.43	1403.49	5.09
较低质量区	1919.13	6.96	1908.90	6.93	1863.74	6.76
中质量区	4981.59	18.08	4801.65	17.42	4634.46	16.81
较高质量区	443.38	1.61	465.34	1.69	501.65	1.82
高质量区	19418.06	70.47	19159.41	69.53	19151.30	69.45

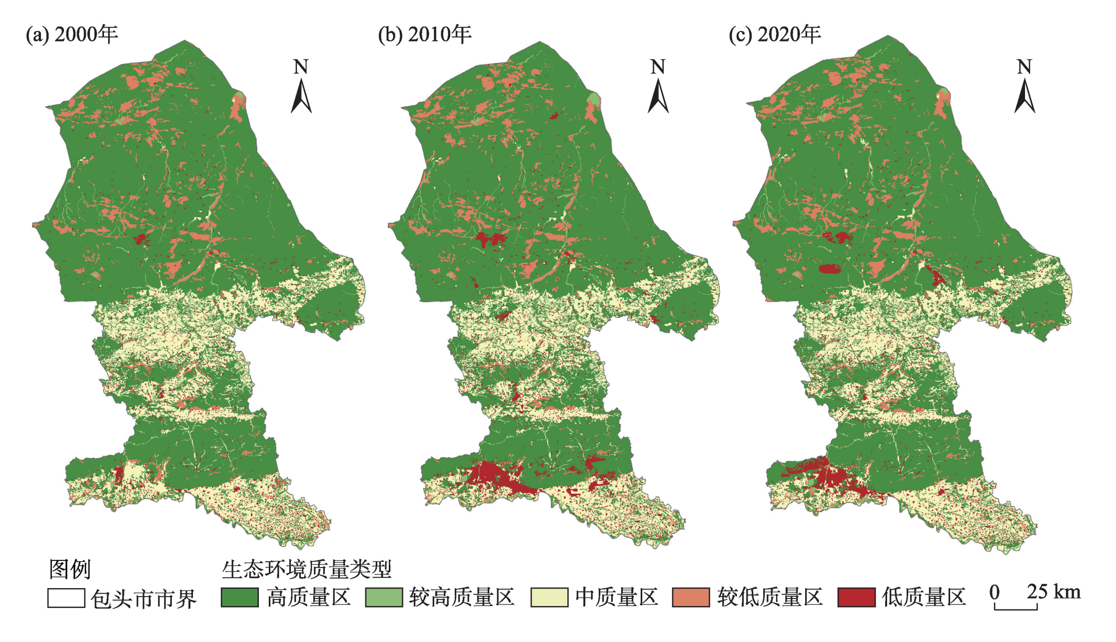


图3　2000—2020包头市生态环境质量等级空间分布

Fig.3　Spatial distributions of ecological environment quality grades in Baotou City from 2000 to 2020

农业生产用地。因政府严格规范矿产资源开发，不断加强对矿山土地复垦的复查措施，较低质量区面积增速放缓（55.39 km²），由工矿用地、低覆盖度草地组成，零星增长于北部高原的工矿业发达区。低质量区2020年的面积为2000年的1.77倍，时空变化与城镇建设密切相关，从点状分散增长演为片状分散，形成以中心市镇为核心的“低质量扩张热点区”，南部中心城区、白云鄂博矿区增长明显，东南部出现多个低质量区域发展核，其中达茂旗低质量生态斑块明显减少，得益于长期治理沙源、物种保育等生态修复的措施。

3.2.2　“三生”空间转型的生态环境效应时空分析

“三生”空间的生态环境质量随地类变化产生正、负效应，两种变化的数值可相互抵消，但整体指数稳定不能表示生态环境未改变，故据公式（2）进一步定量分析包头市3期关键地类转型的贡献率（表5）。

2000—2010年对生态环境正效应贡献率较大的因素包括：工矿业周边其他生态用地转化为牧草生态用地（37.22%）的生态治理成果；农业生产用地向林地（32.41%）、牧草生态用地（11.30%）的大量转化。负效应主要受牧草生态用地转出的影响：包括包钢、白云鄂博矿区等重工业项目建设而转化为工矿生产用地（37.67%）；一二产业高速发展、居民生活需求增加、生态环境恶化，而转化为其他生态用地（15.37%）；百灵庙镇加强农村建设而转化为农村生活用地（9.55%）。

2010—2020年牧草生态用地的转化是生态环境效应重要的影响因素：向工矿生产用地转化的正（0.00452）、负（0.00503）效应相近，在绿色矿山建设、矿业清退等政策下，针对性治理前10 a生态环境负效应用地的正向贡献较大；农业生产用地转化的正（20.33%）、负（14.17%）贡献率次之，置换范围广、

表5 包头市主要地类转型的生态环境效应

Tab. 5 Eological environment effects of main land types transformation in Baotou City

类型	2000—2010年			2010—2020年			2000—2020年		
	土地利用转换类型	生态贡献率	贡献占比/%	土地利用转换类型	生态贡献率	贡献占比/%	土地利用转换类型	生态贡献率	贡献占比/%
生态正效应	Ⅵ-Ⅳ	0.00272	37.22	Ⅱ-Ⅳ	0.00452	34.54	Ⅵ-Ⅳ	0.00336	28.51
	Ⅰ-Ⅲ	0.00237	32.41	Ⅰ-Ⅳ	0.00267	20.33	Ⅷ-Ⅳ	0.00270	22.92
	Ⅰ-Ⅳ	0.00083	11.30	Ⅵ-Ⅳ	0.00177	13.51	Ⅰ-Ⅲ	0.00256	21.68
	Ⅳ-Ⅲ	0.00031	4.22	Ⅷ-Ⅳ	0.00170	13.00	Ⅳ-Ⅴ	0.00069	5.87
小计		0.00622	85.15		0.01068	81.38		0.00932	78.98
生态负效应	Ⅳ-Ⅱ	0.00591	37.67	Ⅳ-Ⅱ	0.00503	34.98	Ⅳ-Ⅱ	0.00604	28.19
	Ⅳ-Ⅵ	0.00241	15.37	Ⅳ-Ⅰ	0.00204	14.17	Ⅳ-Ⅵ	0.00338	15.74
	Ⅳ-Ⅰ	0.00203	12.97	Ⅳ-Ⅵ	0.00160	11.08	Ⅳ-Ⅰ	0.00315	14.71
	Ⅳ-Ⅷ	0.00150	9.55	Ⅳ-Ⅷ	0.00119	8.22	Ⅰ-Ⅶ	0.00178	8.28
小计		0.01185	75.56		0.00984	68.45		0.01435	66.92

密度大，正效应主要位于城市中部农牧交错带、南部农业发展带；与农村生活用地转化的正贡献率(13.00%)主要源于对前10 a百灵镇的生态恢复措施，负贡献率(8.22%)受南部城中村增加的影响；与其他生态用地的转化分散于整个区域，单元面积小，全面治理难度较大，正负贡献率分别为13.51%、11.08%。20 a间，产生重要正向影响(78.98%)的是其他生态用地、农业生产用地向牧草、林地生态用地、水域生态用地转换，农牧用地置换的贡献最大并得到保持，其他类生态用地积极转化为牧草、水域生态用地，生态正效率不断提高，是荒漠化治理与盐碱地再利用的重点；负向影响的主要转化类型(66.92%)是工矿、农业生产用地占用牧草生态用地以及生活用地向农牧用地转化。虽包头市不断修复产生负效应的转换地类以提高生态环境质量，但前10 a中心城区不断增加的建设用地与后10 a牧草生态用地转化为工矿生产用地的生态负效应仍未消解，在稳固生态正效应成果的同时，还需提出此两类片区的生态修复策略。

4 讨 论

本文以包头市为例，通过2000、2010、2020年3期土地利用数据，利用土地转移矩阵研究农牧交错区城市土地利用转型的时空演变特征；引入生态环境质量指数、生态贡献率模型分析其生态环境质量以及生态环境效应。

研究发现，农牧交错区城市土地利用转化率较大，生产用地呈减少趋势，生态用地以草地为主要减少地类，生活用地占比快速增加。农业生产和牧草生态用地转化面积最大，“农牧复合、农牧交换”特征显著，农牧民城镇化、定居化程度增强；地形地貌限制及城市主导产业、政策导向使得城市各片区生境质量差异明显，经济发展与生境保护存在矛盾[28-29]。包头市作为农牧交错区的资源型工业城市，2010年以前的土地利用变化主要因素为国家重点工业项目用地需求的改变，因此，城镇得以迅速发展。近年来由于旧动能转化背景下可持续发展路径的发展，城乡发展面临不同程度的人口流失与老龄化问题，土地利用模式发生了转变。部分草原城镇发展旅游业在这个过程中，草地牧业生产功能向牧草生态功能转换，因此，城郊与村镇的“三生”空间格局发了较大的变化[30-31]。

总体而言，建议继续以生态文明为导向，根据人口增长与迁移的实际情况合理规划“三生”空间，协同总规、土规与社会经济规划，关注包头市在“呼包鄂乌(呼和浩特市-包头市-鄂尔多斯市-乌兰察布市)”城市群及黄河流域的生态效应。一是在生产空间层面，利用生态补偿机制刺激农业生产用地向牧草生态用地转化；坚持工矿业生态修复制度、尤其是管理落实难度较大的众多小型工矿用地，指导产业依靠科技来减少环境污染，改善土地生态安全、绿色生产的模式。二是在生态空间层面，重视达茂旗等牧业旗县的草原生态治理，加强其防风固沙功能以及南部黄河沿岸的水土保持功能；制定牧草地与林地的生态修复面积指标并加强后期管护，作为均衡城市发展产生生态环境负效应的主要地

类；探索其他生态用地的优化方案以减缓土地荒漠盐碱化；挖掘其第三产业潜能，转化土地功能为旅游观赏或其他服务，提升“三生”空间耦合度；严格执行牧草地的禁牧轮牧制度，杜绝对林地、草地、水域及湿地资源的人为破坏。三是在生活空间层面，通过促进城市高质量发展来提升生态效应，开展低效工业用地及闲置宅基地的存量转化，进行复垦规划与土地整治；关注乡镇村农牧居民生活用地的增长质量，确保生态环境与社会经济环境可持续发展，科学指导农业型、畜牧业型乡村间的生产生活用地协调发展。从而促进农牧交错区城市“三生”用地合理布局，优化国土资源空间配置，落实生态保护和高质量发展。

综上，本文改进空间包括：(1) 土地利用功能转型对生态环境质量效应的研究指标不仅与本文采用的转化面积有关，还可参考气候、土壤变化与物种变迁等生态影响因素。(2) 多功能用地的类型划分时，还应根据研究区特点，强化用地提取方案的精确性，分析各种用地模式下的地类主导功能。(3) 生态环境质量指数阈值、权重界定存在主观因素，有待结合研究区特点提升科学性。(4) 根据经济社会发展情况，研究各阶段土地利用转型的驱动机制，深入辨析影响土地利用变化的内在因素，进一步提出生态环境保护策略。

5 结 论

(1) 包头市“三生”空间的生产、生态用地减少，生活用地增加，呈现“北牧南耕”，中部农牧交错，工矿用地全局散布，大青山生态保护带横贯城南，城镇用地动态依山扩张的格局。二级地类中，农业生产用地与牧草生态用地交换面积最大，工矿生产用地、城镇生活用地是主要增长地类。

(2) 包头市生态环境质量指数下降(0.629~0.619)，与主要国民经济指标变化趋势相反，生态恶化趋势放缓：生态环境高质量区面积占比(69.45%)最大，主要分布于南部高原、中南部大青山生态带；较高质量区面积在稳定中有所减少。中质量区分布于大青山以北的农牧交错区、黄河以北的农业发展区域；较低质量区域与矿业发展区关系密切，比重持续下降；低质量区是城镇社会经济发展区，不断向东南方向增进。

(3) “三生”空间转型中，牧草生态用地变更对生境质量影响最大，生态环境正效应主要源于其他生态、农业生产用地向牧草、林地生态用地的转换，生态环境负效应主要源于牧草生态用地的消耗。针对工矿生产、城镇生活用地增加所带来生态环境负效应的恢复措施成效显著。

参考文献(References)

[1] 龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理[J]. 地理研究, 2015, 34(9): 1607-1618. [Long Hualou. On land use transformation and land resource management[J]. Geographic Research, 2015, 34(9): 1607-1618.]

[2] 陈万旭, 李江风, 曾杰, 等. 中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理[J]. 地理研究, 2019, 38(9): 2173-2187. [Chen Wanxu, Li Jiangfeng, Zeng Jie, et al. Spatial heterogeneity and formation mechanism of eco-environmental effect of land use change in China[J]. Geographical Research, 2019, 38(9): 2173-2187.]

[3] 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展[J]. 地理科学进展, 2017, 36(3): 378-391. [Huang Jinchuan, Lin Haoxi, Qi Xiaoxiao. Research progress of “three generation” space for land space optimization[J]. Progress in Geographic Science, 2017, 36(3): 378-391.]

[4] Grainger A. National land use morphology[J]. Geography, 1995, 80(3): 235-245.

[5] 吕立刚, 周生路, 周兵兵, 等. 区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究——以江苏省为例[J]. 地理科学, 2013, 33(12): 1442-1449. [Lü Ligang, Zhou Shenglu, Zhou Bingbing, et al. Research on land use transformation and its ecological environment response in the process of regional development: Taking Jiangsu Province as an example[J]. Geographic Sciences, 2013, 33(12): 1442-1449.]

[6] 龙花楼. 土地利用转型——土地利用/覆被变化综合研究的新途径[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(1): 87-90. [Long Hualou. Land use transformation: A new approach to comprehensive study of land use/cover change[J]. Geography and Geographic Information Science, 2003, 19(1): 87-90.]

[7] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 471-487. [Song Xiaoqing. Discussion on land use transition research framework[J]. Acta Geography Sinica, 2017, 72(3): 471-487.]

[8] 戈大专, 龙花楼, 杨忍. 中国耕地利用转型格局及驱动因素研究——基于人均耕地面积视角[J]. 资源科学, 2018, 40(2): 273-283. [Ge Dazhuan, Long Hualou, Yang Ren. Research on the transformation pattern and driving factors of China's cultivated land use: From the perspective of per capita cultivated land area[J]. Resource Science, 2018, 40(2): 273-283.]

[9] 陈龙, 周生路, 周兵兵, 等. 基于主导功能的江苏省土地利用转型特征与驱动力[J]. 经济地理, 2015, 35(2): 155-162. [Chen Long, Zhou Shenglu, Zhou Bingbing, et al. Characteristics and

driving forces of regional land use transition based on the leading function classification: A case study of Jiangsu Province[J]. Economic Geography, 2015, 35(2): 155-162.]
[10] 梁国付, 丁圣彦. 气候和土地利用变化对径流变化影响研究——以伊洛河流域伊河上游地区为例[J]. 地理科学, 2012, 32(5): 635-640. [Liang Guofu, Ding Shengyan. The impacts of climate and landuse changes on the runoff effects: Case in the upper reaches of the Yihe River, the Yiluo River Basin[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(5): 635-640.]
[11] 吴健生, 冯喆, 高阳, 等. 基于DLS模型的城市土地政策生态效应研究——以深圳市为例[J]. 地理学报, 2014, 69(11): 1673-1682. [Wu Jiansheng, Feng Zhe, Gao Yang, et al. Research on ecological effect of urban land policy based on DLS model: A case study on Shenzhen City[J]. Acta Geography Sinica, 2014, 69(11): 1673-1682.]
[12] 于兴修, 杨桂山, 王瑶. 土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J]. 地理科学, 2004, 24(5): 627-633. [Yu Xingxiu, Yang Guishan, Wang Yao. Advances in researches on environmental effects of land use/cover change[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(5): 627-633.]
[13] 杜习乐, 吕昌河, 王海荣. 土地利用/覆被变化(LUCC)的环境效应研究进展[J]. 土壤, 2011, 43(3): 350-360. [Du Xile, Lü Changhe, Wang Hairong. Research progress on environmental effects of land use/cover change (LUCC)[J]. Soil, 2011, 43(3): 350-360.]
[14] 李旭亮, 杨礼箫, 田伟, 等. 中国北方农牧交错带土地利用/覆盖变化研究综述[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3487-3495. [Li Xuliang, Yang Lixiao, Tian Wei, et al. Land use and land cover change in agro-pastoral ecotone in northern China: A review[J]. Journal of Applied Ecology, 2018, 29(10): 3487-3495.]
[15] 苑韶峰, 唐奕钰, 申屠楚宁. 土地利用转型时空演变及其生态环境效应——基于长江经济带127个地级市的实证研究[J]. 经济地理, 2019, 39(9): 174-181. [Yuan Shaofeng, Tang Yiyu, Shen Tuchuning. Spatiotemporal change of land-use transformation and its eco-environmental response: A case of 127 counties in Yangtze River Economic Belt[J]. Economic Geography, 2019, 39(9): 174-181.]
[16] 高星, 刘泽伟, 李晨曦, 等. 基于"三生空间"的雄安新区土地利用功能转型与生态环境效应研究[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7113-7122. [Gao Xing, Liu Zewei, Li Chenxi, et al. Land use function transformation in the Xiong'an New Area based on ecological production-living spaces and associated eco-environment effects[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7113-7122.]
[17] 李文龙. 北方农牧交错区乡村人地系统适应性演化研究[D]. 西安: 西北大学, 2019. [Li Wenlong. Adaptation evolution of rural human-environment system of farming-pastoral region in north China[D]. Xi'an: Northwestern University, 2019.]
[18] 李文龙, 匡文慧, 吕君, 等. 北方农牧交错区人地系统演化特征与影响机理——以内蒙古达茂旗为例[J]. 地理学报, 2021, 76(2): 487-502. [Li Wenlong, Kuang Wenhui, Lü Jun, et al. Adaptive evolution mechanism of rural human-land system in farming-and-pastoral areas of northern China[J]. Acta Geogarphica Sinica, 2021, 76(2): 487-502.]
[19] 陶泽涪, 王世清, 孙丕苓, 等. 中国北方农牧交错带耕地时空分异及驱动因素[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 153-163. [Tao Zefu, Wang Shiqing, Sun Piling, et al. Spatio-temporal differentiation and driving factors of cropland in the agro-pastoral ecotone of northern China[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(1): 153-163.]
[20] 周建, 张凤荣, 徐艳, 等. 基于降水量与土壤类型的北方农牧交错区土地利用/覆被格局及变化分析——以科尔沁左翼后旗为例[J]. 地理研究, 2017, 36(7): 1210-1222. [Zhou Jian, Zhang Fengrong, Xu Yan, et al. Analysis of land use/cover pattern and its changes in the agro-pastoral ecotone based on the precipitation and soil types: A case study of Horqin Left Rear Banner[J]. Geographical Research, 2017, 36(7): 1210-1222.]
[21] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于"三生空间"的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106. [Yang Qingke, Duan Xuejun, Wang Lei, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(1): 97-106.]
[22] 李广东, 方创琳. 城市生态-生产-生活空间功能定量识别与分析[J]. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65. [Li Guangdong, Fang Chuanglin. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces[J]. Acta Geogarphica Sinica, 2016, 71(1): 49-65.]
[23] 任志远, 武永峰. 我国北部农牧交错区城郊土地利用时空变化——以包头市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(8): 63-67. [Ren Zhiyuan, Wu Yongfeng. Study on temporal-spatial change of land use in ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2004, 18(8): 63-67.]
[24] 李晓文, 方创琳, 黄金川, 等. 西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应——以甘肃河西地区为例[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 280-290, 348-349. [Li Xiaowen, Fang Chuangling, Huang Jinchuan, et al. The urban land use transformations and associtied effects on eco-environmental in northwest China arid region: A case study in Hexi region, Gansu Province[J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(3): 280-290, 348-349.]
[25] 崔佳, 臧淑英. 哈大齐工业走廊土地利用变化的生态环境效应[J]. 地理研究, 2013, 32(5): 848-856. [Cui Jia, Zang Shuying. Regional disparities of land use changes and their eco-environmental effects in Harbin-Daqing-Qiqihar industrial corridor[J]. Geographical Research, 2013, 32(5): 848-856.]
[26] 帕茹克·吾斯曼江, 郝晋珉, 王楠, 等. 基于"三生"功能的土地利用转型及其生态环境效应——以尉犁县为例[J]. 干旱区地理, 2021, 44(6): 1612-1622. [Wusimanjiang Parruk, Hao Jinmin, Wang Nan, et al. Land use transformation based on production-living-ecological functions and associated eco-environment effects: A case study in Yuli County[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(6): 1612-1622.]
[27] 南生祥, 魏伟, 刘春芳, 等. 土地利用变化的生态环境效应及其时空演变特征——以河西走廊为例[J]. 应用生态学报, 2022,

33(11): 3055−3064. [Nan Shengxiang, Wei Wei, Liu Chunfang, et al. Eco-environment effects and spatiotemporal evolution characteristics of land use change: A case study of Hexi Corridor, northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(11): 3055−3064.]

[28] 翟玉鑫, 张飞云, 马丽娜. 近40年新疆三生用地转型及其生态环境效应演变[J]. 土壤通报, 2022, 53(3): 514−523. [Zhai Yuxin, Zhang Feiyun, Ma Li'na. Changes of production-living-ecology land transformation and eco-environmental effects in Xinjiang in last 40 years[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(3): 514−523.]

[29] 李文龙, 石育中, 鲁大铭, 等. 北方农牧交错带干旱脆弱性时空格局演变[J]. 自然资源学报, 2018, 33(9): 1599−1612. [Li Wenlong, Shi Yuzhong, Lu Daming, et al. The spatio-temporal evolution of drought vulnerability in the ecotone between agriculture and animal husbandry in the north of China[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(9): 1599−1612.]

[30] 王戈, 于强, 刘晓希, 等. 包头市景观格局时空演变研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(8): 192−199. [Wang Ge, Yu Qiang, Liu Xiaoxi, et al. Temporal and spatial evolution of landscape pattern in Baotou City[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2019, 50(8): 192−199.]

[31] 薛建春, 曹力博. 2001—2020年包头市土地利用转型演变特征与生态安全影响[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 273−282. [Xue Jianchun, Cao Libo. Evolution characteristics of land use transformation and its impact on ecological security in Baotou City during 2001—2020[J]. Bulletin Soil and Water Conservation, 2022, 42 (1): 273−282.]

Land use function transformation in the agro-pastoral ecotone based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case of Baotou City

ZHANG Mengyuan, RONG Lihua, LI Yitong, DANG Hui

(School of Architecture, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, Inner Mongolia, China)

Abstract: The transformation of land use and ecological environment construction in the agro-pastoral transitional zone serves as an important supporting factor for sustainable development in northwestern China. Based on the perspective of ecological-production-living space and using remote sensing data from 2000, 2010, and 2020 in Baotou City, this paper analyzes the characteristics of land use transformation and its ecological environment effects through methods such as land transfer matrix, ecological environment quality index, and ecological contribution rate. The results show that: (1) The overall pattern of the ecological-production-living space in Baotou City remained stable during the research period, with a decrease in production and ecological land and a continuous increase in residential land. The area of grassland ecological land transferred out is the largest, followed by agricultural production land; the area of urban residential land and industrial production land transferred in is the largest. (2) From 2000 to 2020, the ecological environment quality index of Baotou City decreased, with values of 0.6292, 0.6208, and 0.6194, but the improvement trend is greater than the deterioration trend. The area of high-quality ecological areas in the northern part of the city decreased, the medium-quality areas in the central part decreased slowly, and the low-quality areas in the southern area continued to increase towards the southeast. (3) The negative ecological environment effects generated by occupying grassland ecological land are significant, while the transformation of other ecological land and agricultural production land into grassland ecological land is the main factor in improving the ecological environment. By studying the land use transformation and ecological environment effects in Baotou City, this paper aims to provide reference for the optimization of the ecological-production-living space in urban agro-pastoral transitional zones and ecological environment protection.

Key words: ecological-production-living spaces; land use function transformation; ecological environment effect; agro-pastoral ecotone; Baotou City